

34

# NEUTRON SPECTROMETER, REAL-TIME DOSIMETER AND METHODOLOGY USING THREE-DIMENSIONAL OPTICAL MEMORY

Publication number: JP10503588T

Publication date: 1998-03-31

Inventor:

Applicant:

Classification:

- International: G01T1/02; G01T3/08; G01T1/02; G01T3/00; (IPC1-7): G01T1/02

- European: G01T1/02D; G01T3/08

Application number: JP19950529194T 19950510

Priority number(s): WO1995US05837 19950510; US19940240933 19940510

Also published as:

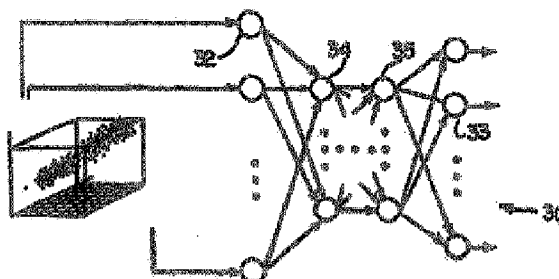
WO9530909 (A1)  
EP0826154 (A1)  
EP0826154 (A4)  
EP0826154 (A0)

Report a data error here

Abstract not available for JP10503588T

Abstract of corresponding document: WO9530909

A dosimetry method and associated apparatus characterized by the steps of storing information in a three-dimensional optical memory element (20), then exposing the optical memory element to neutron or other high LET radiation to alter the information stored in the optical memory element as a function of the radiation to which the optical memory element is exposed, and then retrieving the altered information from the optical memory element. In a preferred embodiment, subsequent analysis of the altered information uses a neural network computer apparatus (30). The altered information is used to provide a measure of both the radiation dose and energy. The optical memory may be a 3-D ORAM (20) with a volume of a transparent polymer doped with a light sensitive chemical and, in particular, spirobenzopyran. Also, a spectrometer (40) for monitoring neutron and other types of radiation, an electronic dosimeter (50) for providing real-time monitoring of radiation exposure, and associated methodologies, are all based on use of an optical memory element.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平10-503588

(43) 公表日 平成10年(1998) 3月31日

(51) Int.Cl.<sup>4</sup>  
G 0 1 T 1/02

識別記号 片内整理番号  
9216-2G

F I  
G 0 1 T 1/02 B

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 38 頁)

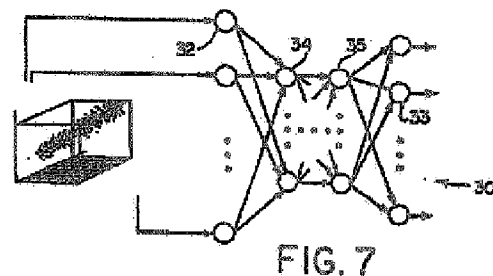
(21) 出願番号 特願平7-529194  
(26) (22) 出願日 平成7年(1995) 5月10日  
(85) 翻訳文提出日 平成8年(1996) 11月11日  
(86) 国際出願番号 PCT/US 95/05837  
(87) 国際公開番号 WO 95/30909  
(87) 国際公開日 平成7年(1995) 11月16日  
(31) 優先権主張番号 08/240, 933  
(32) 優先日 1994年5月10日  
(33) 優先権主張国 米国 (US)  
(81) 指定国 EP (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, M C, NL, PT, SE), J P

(71) 出願人 ジョージタウン ユニバーシティ  
アメリカ合衆国 ワシントン ディーシー  
20007, エヌ. ダブリュー., リザー  
ボア ロード 3900  
(72) 発明者 モスコビッチ, マルコ  
アメリカ合衆国 メリーランド 20854,  
ボトマック, デビルウッド コート  
11700  
(74) 代理人 弁理士 山本 秀策

(54) 発明の名称 3次元光メモリを用いた中性子分光計、リアルタイム線量計、および方法

(57) 要約

放射線の線量測定方法およびそれに関連した装置であって、該被検体のメモリ位置を有する3次元光メモリ素子(20)に情報を格納するステップと、その後、該光メモリ素子を中性子その他の高LET放射線に曝すことによって、該光メモリ素子が曝された該放射線の関数として該光メモリ素子に格納された該情報を変更するステップと、該変更された情報を該光メモリ素子から取り出すステップとを含むことを特徴とする。好ましい実施形態においては、該変更された情報の引き続く分析は、ニューラルネットワークコンピュータ装置(30)を使用して行われる。該変更された情報は、放射線線量およびエネルギー両方の測定を行うために用いられる。光メモリは、感光性の化学ドーパント分子でドーパされたある体積の透明なポリマー、特に、スピロベンゾピランを備えている3-D ORAM(20)であってもよい。また、中性子およびその他のタイプの放射線をモニターする分光計(40)、放射線線量のリアルタイムモニターを提供する電子線量計(50)、および関連した方法論は、すべて、光メモリ素子を用いることに基づく。



## 【特許請求の範囲】

## 1. 高LET放射線の線量を測定する方法であって、

第1のエネルギー状態から第2のエネルギー状態に複数のメモリ位置を励起することによって、該複数のメモリ位置を有する3次元光メモリ素子に情報を格納するステップと、

該光メモリ素子を高LET放射線に曝すことによって、該光メモリ素子が曝された該放射線の関数として該光メモリ素子に格納された該情報を変更するステップであって、該励起されたメモリ位置は、該放射線と該光メモリ素子を構成する分子との間の局所化された相互作用を介して該第2のエネルギー状態から該第1のエネルギー状態に戻る、ステップと、

該メモリ位置を読み、該第1のエネルギー状態に戻された該メモリ位置の空間的な分布を決定することによって、該変更された情報を該光メモリ素子から次の分析のために取り出すステップと、

該光メモリ素子から取り出された該変更された情報を分析し、該光メモリ素子から放射線の線量情報を抽出するステップであって、該分析するステップは、該第1のエネルギー状態に戻された該メモリ位置の該空間的な分布の関数として放射線エネルギーを決定するニューラルネットワークコンピュータ装置を使用することを含む、ステップと

を包含する方法。

2. 前記光メモリ素子は、感光性の化学ドーバント分子でドーブされたある体積の透明なポリマーを備えている、請求項1に記載の方法。

3. 前記感光性の化学ドーバントは、スピロベンゾピランである、請求項2に記載の方法。

4. 前記光メモリ素子は、実質的に水素と炭素とから構成される、請求項1に記載の方法。

5. 前記取り出すステップは、前記メモリ位置を読み、前記第1のエネルギー状態に戻された該メモリ位置の数を決定することを含み、前記分析するステップは、を含む、該第1のエネルギー状態に戻された該メモリ位置の数の関数として前

記放射線の線量を決定することを含む、請求項1に記載の方法。

6. 前記取り出すステップは、前記メモリ位置を読むために2光子吸収を使用することを含む、請求項1に記載の方法。

7. 前記格納するステップは、前記メモリ位置を前記第2のエネルギー状態に励起することによって該メモリ位置を書くために2光子吸収を使用することを含む、請求項1に記載の方法。

8. 前記高LET放射線は、中性子放射線である、請求項1に記載の方法。

9. 前記高LET放射線は、陽子放射線である、請求項1に記載の方法。

10. 第1のエネルギー状態から第2のエネルギー状態に書き込まれ得る複数のメモリ位置を有する3次元光メモリ素子であって、該メモリ位置は、入射された放射線と該光メモリ素子を構成する分子との間の局所的な相互作用を介して該第2のエネルギー状態から該第1のエネルギー状態に戻ることによって変更される、光メモリ素子と、

該光メモリ素子を読み、入射された放射線との相互作用を介して変更された情

報を該光メモリ素子から取り出す手段と、

該光メモリ素子から取り出された該変更された情報を分析し、該光メモリ素子から放射線の線量情報を抽出する手段と、

該光メモリ素子から抽出された該線量情報を表示する手段と

を備えた装置。

11. 前記分析する手段は、前記第1のエネルギー状態に戻された前記メモリ位置の空間的な分布の関数として放射線エネルギーを決定するニューラルネットワークコンピュータ装置を使用することを含む、請求項10に記載の装置。

12. 前記分析する手段は、放射線の線量とエネルギーの両方を決定する手段を含む、請求項10に記載の装置。

13. 前記光メモリ素子は、感光性の化学ドーバント分子でドーブされたある体積の透明なポリマーを備えている、請求項10に記載の装置。

14. 前記感光性の化学ドーバントは、スピロベンゾピランである、請求項10に記載の装置。

15. 前記光メモリ素子は、実質的に水素と炭素とから構成される、請求項14に記載の装置。

16. 請求項10に記載の装置を備え、前記線量情報がリアルタイムに表示される、リアルタイム線量計。

17. 請求項10に記載の装置を備え、放射線の線量とエネルギーとがリアルタイムに表示される、分光計。

## 【発明の詳細な説明】

## 3次元光メモリを用いた

## 中性子分光計、リアルタイム線量計、および方法

ここに記載される発明は、概して放射線線量測定に関し、特に、正確な中性子線量の測定を可能にする中性子線量計およびこれに関連する線量測定法に関する。本発明は、陽子、重イオン等の他の種類の高線形エネルギー転換 (high linear energy transfer: LET) 放射線、およびマイクロ線量測定 (microdosimetry) にも使用できる。また、様々な装置が開示される。

原子力産業の成長、原子炉技術の発達、および中性子の潜在的なラジウム療法への利用の結果、放射線労働者が中性子から受ける射線量の割合 (fraction) が増大している。残念ながら、現存の線量測定法の、低い中性子感応性およびエネルギー依存性のために、中性子線量の測定は困難な課題となっている。従来の中性子線量測定法には、熱発光線量測定法 (TLD)、電気化学的にエッチングされた CR-39 ホイルまたは NTA フィルム等を用いた固体トラック検出 (solid track detector) 法、および過熱泡検出器 (superheated bubble detectors) (SSD) 等を用いた流体トラック検出 (fluid track detector) 法が含まれる。

これらの方法は、中性子線量測定のさらに厳密な要求を満たすエネルギー応答および感応性を有していない。TLD の欠点は、その高いエネルギー依存性であり、中性子エネルギースペクトルが未知の場合、10 倍以上のエラーを生じる可能性がある。NTA フィルムの応答機能は、多くの動作状態で、さらに大きなエラーを生じる可能性がある。CR-39 についての主要な未解決問題は、中性子のエネルギーが低い場合の感応性の不足、エネルギー依存性、および高エネルギーにおける低感応性である。さらに最近に開発された過熱液滴検出器 (superheated drop d

etector) については、エネルギーが 0.144 MeV から 5 MeV の場合に、エネルギー応答が 4 分の 1 に減少する等の重大な欠点が明らかにされている。

ダイナミックランダムアクセスメモリ (DRAM) において、荷電粒子、特にアルファ粒子との相互作用によって生じるソフトエラー等の電気特性の変化を利用した他の中性子線量測定法が提案されている。中性子線量計として使用する場合、中

中性子との相互作用によって陽子またはアルファ粒子を生成する変換部材 (converter) が用いられる。したがって、中性子線量計の全体的な性能は、DRAMに用いられるホイル層等である変換部材の性能に、少なくとも部分的に依存している。さらに、中性子/アルファ変換部材では、線量計が大型になり、線量の判読 (reading interpretation) が複雑になるという欠点がある。変換部材が必要であることに加えて、DRAMの材料は生体組織の等価物 (tissue equivalent) ではなく、さらにエネルギー依存性の問題が依然として解決されていない。

中性子線量測定は、保健物理学上、困難な課題であると考えられている。近年、中性子被爆に関係する生物への危険性が再検討されており、その結果、広範囲にわたる中性子エネルギーの正確な中性子線量測定を提供する中性子線量測定方法が早急に求められている。具体的には、中性子線量測定における2つの主要な未解決課題は、(1) 中性子エネルギーの測定が不可能であり、これにより等価線量 (dose equivalent) の評価 (estimating) においてエラーを生じること、および(2) 中性子エネルギーが高い場合および低い場合の感応性の低さであり、これらを解決する中性子線量計および線量測定方法が求められている。エネルギーが高い場合にも低い場合にも感応性が高く、かつ被爆エネルギースペクトル (exposure energy spectrum) を特徴づけることが可能であり、それにより、正確な中性子線量測定を可能にする中性子線量計が求められている。

本発明は中性子、より広義には高LET放射線 (high LET radiation)、の線量測定に対して全く新しい方法を取ることで上述の必要性を満たすものであり、

光メモリ装置の使用によって特徴づけられる。この光メモリ装置は、光活性物質を含有する材料の塊 (volume) から成り、エネルギーによって引き起こされる (energy induced) 3次元的に不均質なパターンを、方向性のある電磁波放射線 (directed electromagnetic radiation) を用いて生成 (produce) および/または光学的に検出することができる。具体的には、本発明は、これまでコンピュータ用のメモリ装置として提案されてきた、何ギガバイトもの大量のデータを格納する、2つの光子を用いた (two photon based) 3次元光ランダムアクセスメモリ (3-D ORAM) を用いる。この3-D ORAMは、感光性化学物質をドーブした透明ポリマーから成

る通常は立方体の塊であり、2つのレーザービームを用いて同時に材料を照射し(strike)、その交点にある材料の光学的特徴を変化させて書き込みおよび読み出しを行う。

本発明による線量測定方法は、3次元光メモリ素子に情報を格納するステップと、その後、該光メモリ素子を中性子もしくは他の高LET放射線に曝すことによって、該光メモリ素子が被曝した放射線の関数として該光メモリ素子に格納された情報を変化させるステップと、その後、次の分析のために、変化した情報を光メモリ素子から取り出すステップとを包含している。具体的には、ある情報を光メモリ素子に書き込み、放射線に曝すことによりその情報を変化させる。後に、この変化した情報を光メモリから読み出して分析することによって、放射線の線量およびエネルギーを測定する。

好適な実施例においては、この光メモリ装置は、感光性化学物質、特にスピロベンゾピランをドーパした透明ポリマーの塊を含む3-D ORAMである。レーザー光を用いてフォトクロニック化学ドーパント分子(photochromic chemical dopant molecule)を高いエネルギー状態に励起することによって、二値情報がこのORAMに格納される。この分子が2つの光子を同時に吸収すると、色等の光学的特徴が変化し、1ビットが記録される。

中性子放射線は、ORAM材料に含まれる水素および炭素と相互作用する際に、

高エネルギーの重イオンを生成する。これらの重イオンによって、局所的なエネルギーの蓄積(local energy deposition)が生じ、その結果の局在化した温度上昇によって、励起された、即ち「書き込まれた」分子が生じる。あるいは、その付近の複数の分子が低いエネルギー、即ち「書き込まれていない状態」に戻る。コンピュータメモリの用語を用いて言えば、中性子放射線との相互作用が、ビットフリップとしてのエラー、即ち、書き込まれた二値数「1」の状態から書き込まれていない「0」の状態への変化を引き起こす。「エラー」即ち「ビットフリップ」を中性子線量と関連付けることにより、線量の算出が可能になる。陽子および重イオン放射線等の他の種類の高LET放射線との相互作用によっても、局所的なエネルギー蓄積が生じる。



さらに、吸収された放射線のエネルギーは、ビットフリップの空間的な分布から決定することも可能である。なぜなら、中性子（あるいは他の高LET粒子）の持つエネルギーが異なれば、ORAM内に生じる軌跡（トラック）構造も異なるからである。放射線エネルギースペクトルを、ORAMを構成する水素および炭素原子との相互作用によって生じたトラック構造に関連付けることにより、エネルギーが測定される。エネルギーが分かれば、エネルギーに依存する線質係数(quality factor)を適用して、等価線量を得ることができる。

本発明によれば、エネルギーが高い場合および低い場合の両方において、現存の中性子線量測定方法によって得られる感応性よりも何桁も高い感応性が得られる。これは、ORAMの高い記憶および相互作用密度 $10^{12}$  bits/cm<sup>3</sup>に起因するものである。また、本発明の実施に有用な従来型のORAMは、水素および炭素原子から成る。これによって、生体組織の等価物を得ると同時に、これまで中性子線量測定に採用されていた外的なアルファまたは陽子放射器(radiator)の必要性、およびそれに関連する欠点を排除することができる。また、本発明はマイクロ線量測定にも有用である。

本発明の別の局面によれば、線量計素子と線量計素子のホルダーとで形成され

る高LET線量計を提供する。線量計素子は光メモリ装置から成り、ホルダーは、放射線被爆量をモニタされる人がこのホルダーを着用するための手段を含んでいる。好適な実施例において、線量計素子はホルダーから取り外し可能になっており、これにより、読み出しを目的としたリーダ(reader)内での「読み出し」が可能となる。

本発明のまた別の局面によれば、高LET放射線に被爆した光メモリ素子を取り外し可能に受け入れる手段と、該光メモリ素子から情報を取り出す手段と、該光メモリから取り出した情報を分析して放射線線量および/または中性子エネルギーを測定する手段とを備えた線量測定リーダを提供する。

本発明のまた別の局面によれば、放射線に曝される光メモリ装置を含む線計と、放射線被爆後に、光メモリ装置から情報を取り出すリーダと、取り出した情報を分析して放射線線量および/またはエネルギーを測定する手段とを備えた線量

計システムを提供する。

本発明のまた別の局面は、3次元光メモリ素子に情報を格納するステップと、その後、この光メモリ素子をイオン化放射線に曝すことによって、光メモリ素子が被曝した放射線の関数として光メモリ素子に格納された情報を変化させるステップと、変化した情報を光メモリ素子から取り出すステップと、光メモリ素子から取り出した変化した情報を分析して、そこから放射線被曝情報を抽出するステップとを包含する、イオン化放射線被曝(ionizing radiation exposure)をモニタする方法を提供する。

本発明のまた別の局面は、3次元光メモリ素子に情報を格納するステップと、光メモリ素子を放射線に曝し、光メモリ素子が被曝した放射線との局所的な相互作用を介して、光メモリ素子内の複数のメモリ位置に格納された情報を変化させるステップと、メモリ位置を読み出すことにより光メモリ素子から変化した情報を取り出し、これにより、放射線との相互作用を介して変化したメモリ位置の中の位置を決定し、これにより、光メモリ素子内の放射線線量の空間的分布を測定

するステップとを包含するマイクロ線量測定を行う方法を提供する。

また、ここに記載される発明は、中性子および他の種類の放射線をモニタするための分光計と、放射線被曝をリアルタイムにモニタするための電子線量計(electronic dosimeter)、およびこれに関連する方法を提供する。これらは全て、モニタする放射線に対して感応性を有する光メモリユニットに基づくものである。分光計および線量計の好適な実施例の特徴は、第1のエネルギー状態から第2のエネルギー状態に書き込まれ得る複数のメモリ位置を有する3次元光メモリ素子であって、該メモリ位置は、入射された放射線と該光メモリ素子を構成する分子との間の局所的な相互作用を介して該第2のエネルギー状態から該第1のエネルギー状態に戻ることによって変更される、光メモリ素子と、該光メモリ素子を読み、入射された放射線との相互作用を介して変更された情報を該光メモリ素子から取り出す手段と、該光メモリ素子から取り出した該変更された情報を分析し、該光メモリ素子から放射線の線量情報を抽出する手段と、該光メモリ素子から抽出した該線量情報を表示する手段とにある。好ましくは、分析手段は、第1のエ

エネルギー状態に戻されたメモリ位置の空間的な分布の関数として放射線エネルギーを決定するニューラルネットワークコンピュータ装置を含む。

また、本発明は、第1のエネルギー状態から第2のエネルギー状態に複数のメモリ位置を励起することによって、該複数のメモリ位置を有する3次元光メモリ素子に情報を格納するステップと、該光メモリ素子を高LET放射線に曝すことによって、該光メモリ素子が被曝した該放射線の関数として該光メモリ素子に格納された該情報を変更するステップであって、該励起されたメモリ位置は、該放射線と該光メモリ素子を構成する分子との間の局所化された相互作用を介して該第2のエネルギー状態から該第1のエネルギー状態に戻る、ステップと、該メモリ位置を読み、該第1のエネルギー状態に戻された該メモリ位置の空間的な分布を決定することによって、該変更された情報を該光メモリ素子から次の分析のために取り出すステップと、該光メモリ素子から取り出した該変更された情報を分析

し、該光メモリ素子から放射線の線量情報を抽出するステップであって、該分析するステップは、該第1のエネルギー状態に戻された該メモリ位置の該空間的な分布の関数として放射線エネルギーを決定するニューラルネットワークコンピュータ装置を使用することを含む、ステップと、を包含する高LET放射線の線量を測定する方法を提供する。通常、分析ステップは、第1のエネルギー状態に戻されたメモリ位置の数の関数として放射線の線量を決定するステップをさらに含む。

前記およびまた別の特徴を以下に記載し、かつクレームに明確に示す。本発明を詳細に説明する実施例では以下の記載および添付の図面が示される。これらは、本発明の原則が適用され得る様々な態様の一部を示すものに過ぎない。

図1 (Parthenopoulos and Rentzepis, Science, Vol. 245, 843 (1989) より) は、ポリマーマトリクス内のスピロベンゾピラン分子の「書き込み」および「読み出し」の形態を示すエネルギーレベル図である。

図2 (Stein, Byte, 1992年3月, 168より) は、2つの直交するレーザービームを用いた2光子プロセスによる3-D ORAMを示す図である。

図3は、本発明による中性子線量測定システムを示す図である。

図4は、本発明による中性子線量計を示す図である。

図5および図6 (Bolchら、Health Physics, Vol.53, 241, 245~246(1987)より)は、それぞれ500keVリコイル陽子(recoil proton)、および80keVリコイルCイオン(recoil C ion)によってガス中に生じた模擬トラック構造を示す図である。

図7は、本発明の実施に有用なニューラルネットワークを示す図である。

図8は、本発明による中性子分光計を示す図である。

図9は、本発明によるリアルタイム電子線量計を示す図である。

本発明の中性子線量測定方法は、線量計として、ある体積をもつ光感応性物質を含む材料から構成される光メモリ素子を用いる。この物質においては、エネルギーによって誘導された3次元的不均一性パターンがつくりだされ、かつ/または指向性をもつ電磁輻射を用いることによって光学的に検出されうる。この方法は、大きくいえば、3次元光メモリ素子中に情報を格納するステップと、光メモリ素子が曝された中性子放射線の間数として、その光メモリ素子に格納された情報を変更するために、その後その光メモリ素子を中性子放射線に曝すステップと、それから以後の分析のために光メモリ素子から変更された情報を取り出すステップと、を包含している。これらのステップは、この方法を実行するのに役立つ、好ましい光メモリ素子、装置およびシステムの詳細として以下により十分に説明される。

中性子線量計として有用な好ましい光メモリ素子は、以前はコンピュータにおけるメモリ記憶デバイスとしての使用が提唱されていた3次元光ランダムアクセスメモリ (3-D ORAM) である。知られている3-D ORAMは、スピロベンゾピランと呼ばれる感光性化学物質でドーブされた透明なポリマーからできている。ポリマーマトリクス中に埋め込まれたスピロベンゾピラン分子は、2つの異性体形態 (isomeric form) をもち、電磁エネルギーによって励起されたエネルギーレベル変化に応答して一方から他方へと変化する。ポリマーマトリクス中に埋め込まれたスピロベンゾピラン分子を含む3-D ORAM素子は、Science誌のVol. 245, 第843頁~第845頁 (1989) のParthenopoulosおよびRentzepisによる「Three-Dimensional Optical Storage Memory」において報告されたように3-D ORAMが開発された

カリフォルニア州IrvineのUniversity of Californiaから入手できる。スピロベンゾピラン分子およびその主要な性質は、BertelsonのTechniques of Chemistry : PhotochromismのVol. 3、Wiley-Interscience、New York、1971、第45頁に記載されている。

ORAMへの意味のある情報の格納およびORAMからの取り出しは、スピロベンゾピランの2つの顕著な形態によって与えられる2進フォーマットの情報を読み書きするためにNd:YAGソリッドステートレーザシステムを使うことによって影

響を受けることがある。Nd:YAGレーザは、特に2光子吸収を用いてORAMに対して読み書きするのに有用な532nmおよび1064nmのレーザビームをつくりだす。2光子吸収は、2つの光子を同時に吸収させることによって分子をより高いエネルギーの電子状態に励起することである。この物理現象は、R.M. MacfarlaneのJ. Lumin.、38、20 (1987) にさらに詳しく記載されている。

スピロベンゾピラン分子が同時に2つの532nmの光子を吸収するとき、この分子は、色を変え、「ビット」を記録する。図1に示すように、第1の光子が中間の仮想状態への励起をおこない、第2の光子がさらに分子を安定した励起状態まで励起する。仮想状態は不安定なので、2つの光子は、遷移が起こるように空間的および時間的に重なっていなければならない。2進ロジックにおいては、左の形態が「1」を表現し、右の形態が「0」を表現してもよい。

読み出し（リード）動作もまた、同時の2光子吸収によるが、2つの光子の波長は、より長い。スピロベンゾピラン分子を同時に励起するためには2つの1064nmの光子が用いられうる。既に述べた分子だけがより長い波長を吸収でき、感光性検出器アレイを用いて検出できる蛍光を放出できる。

図2に示すように2つの相互に直交するレーザビームの焦点をあわせて同時に「アドレッシングされた」分子を励起することによって、情報がORAM内の選択された位置に対して読み書きが行われる。ビットを書き込むときには、アドレッシングされたORAMの体積内の位置に2つの532nmビームが焦点を合わされ、それによって分子がより高いエネルギー状態に励起される。ビットを読み出すためには、アドレッシングされた位置に2つの1064nmのビームが焦点が合わされて、アドレッシングさ

れたビットが書き込まれていたかどうかを調べるために蛍光が探される。選択されたビットを消去するには、いずれかの光によって、また全体を消去するには、温度によって、消去がおこなわれる。以下の説明からわかるように、通常、再使用するためには消去の必要はなく、ORAM全体に書き込みを行うことによって、ORAMを中性子検出器として再使用するために再生することができる。

ORAMを同時に照射し、その交点においてビットを読み書きする2つのレーザービームをつくるために、ビームスプリッタおよびフォーカシング光学系が用いられてもよい。書き込みには、同じ波長の2つのビームが用いられたときにそれぞれのビームによって別々に誘起された2光子吸収から生じるポテンシャル錯綜を防ぐために弱い532nmと強い1064nmとを用いることが好ましいとわかるだろう。

ORAMへの読み書きをするシステムの詳細については、Hunterらの「Potentials of Two-Photon Based 3-D Optical Memories for High Performance Computing」、Applied Optics, Vol. 29, NO.14, 1990年5月10日を参照されたい。ここでは、この文献を援用する。本発明は、ここで述べた書き込み（ライト）および読み出し（リード）機能を実現するための適当なハードウェアおよびそれに付随するソフトウェアを用いて実施することができる。さらにORAMをライト／リードする装置は、その中に集積化されてもよく、または以下に説明されるデータ分析および制御機能を実行する従来のプログラム可能なマイクロコンピュータのようなコンピュータにインタフェースされてもよい。図3は、ORAM線量計リーダ12およびコンピュータ14を含む例示的なシステム10を示す。

本発明によれば、線量計18の中性子に感応する素子として上述のORAMのような光メモリ素子が用いられる。図4に模式的に示すように、ORAM 20は、保護のために、かつモニタすべき場所に装着したり、ユーザの衣服にクリップで止めるか、または直接、ユーザの身体に装着したりするかによって人に線量計を付けたりすることを便利にするために、典型的にはホルダー22に収められる。ホルダーは、例えばORAM線量計素子のためのケース24およびそのケースのためのキャリヤ26を含むマルチコンポーネントホルダーでもよい。ケース24は、ORAM線量計素子中において中性子でないものによって誘起された応答が起こりえないように光を通さ

ない必要がある。線量計に読み書きするために選択されたハードウェアの性質によっては、読み書きのための装置に装着するために、ORAM線量計素子は、ケースおよび／またはホルダーから取り外す必要があるかもしれ

ない。キャリアは、クリップまたは他の装着／携帯用の器具を含んでもよい。

ORAM線量計素子20は、それぞれのメモリ位置にビットを書き込むことによって、中性子線量モニタリングに用いられるための準備がなされる。好ましくは、すべてのアドレッシング可能なメモリ位置に書き込まれることによって、ORAMの感度を最大にする。いったん書き込まれた線量計素子は、ホルダー22に入れられ、中性子への被爆をモニタするために配布されるか、設置される。例えば、線量計は、中性子に被爆するモニタされるべき人によって携帯されてもよい。ORAM線量計は、それからその人と同じ放射線に曝される。所定の期間ののち、線量計は回収され、その中から放射線被曝情報が抽出される。

中性子放射線がORAM材料を構成する水素および炭素と反応すると、エネルギーをもった重イオンをつくりだす。これらの重イオンは、励起された分子の近傍において局所エネルギーが蓄積することによってORAM内にエラーが引き起こされる。結果として生じる温度上昇は、分子の書き込まれた形態を消去して、ビットフリップ（「1」から「0」への変化）として生じるエラーを引き起こす。測定可能なエラーの数は、中性子線量の関数であり、ほぼ中性子線量に比例する。したがって、吸収された中性子線量は、測定可能なエラーの数の関数として計算される。吸収された線量は、放射線線量測定において用いられる基本的物理量である（しばしば単に線量と呼ばれる）。吸収された線量は、あらゆる物質においてあらゆる種類のイオン化放射線から単位体積あたり吸収されたエネルギーとして定義される。

中性子エネルギーは、ORAM内のイオン軌跡の構造から計算される。アナロジーによって、異なる跳ね返った粒子は、異なる軌跡形状をガスイオン化チャンバの中でつくりだす。図5および図6は、気体中における80 keVの反射Cイオンと比較したときの、500 keVの反射陽子によってつくられたシミュレートされた軌跡構造の大きな差を示す。ORAM中におけるビットフリップの分布、およびより詳細

にはORAM内の反跳した荷電粒子の軌跡に沿ったビットフリップ密度分布は、

ORAMを構成する水素原子および炭素原子との中性子反応によってつくられた2次荷電粒子の軌跡構造分布を明らかにする。したがって、中性子エネルギーおよびORAM内のビットフリップの空間分布の関数的な関係は、エネルギー測定をおこなうのに用いられうる。いったんエネルギーがわかれば、エネルギーに依存する線質ファクタを適用することによって、必要とされる等価線量が得られる。定量的な等価線量により、放射線からの保護目的のために、異なる種類の放射線の異なる生物学的効果を測ることが可能となる。等価線量 $H$ は、吸収された線量 $D$ および放射線の種類によって変わる無次元の係数 $Q$ の積として定義される。ガンマ線、X線、電子線および陽電子線の場合、線質係数の値は1である。中性子および重い荷電粒子の場合、線質係数は、粒子のエネルギーおよび種類に応じて2~20の範囲にある。

与えられたORAM線量計素子のためのアルゴリズム開発は、Bolchらの「A Method of Obtaining Neutron Dose and Dose Equivalent From Digital Measurements and Analysis of Recoil-Particle Tracks」、Health Physics、53、第241頁~第253頁（1987）に記載された方法と同様の手法のアプローチが可能であろう。この文献はここで援用される。適切なアルゴリズムによって、軌跡の真の端点を含む可能性が最も高い2つのセルを考慮したうえで跳ね返り事象の軌跡長 $L$ が計算され、軌跡軸の近傍におけるビットフリップ事象について3次元的な走査をおこなうことによって軌跡の平均直径 $R$ が計算されうる。 $R$ および $L$ は、それから所定の関係を用いて中性子の等価線量を求めるために用いられうる。

読者にはわかるだろうが、熱中性子線量測定についての文献で示唆されている従来のシリコンベースのDRAMの記憶密度である $10^8$ ビット/ $\text{cm}^3$ と比較して、 $10^{12}$ ビット/ $\text{cm}^3$ というORAMの高い記憶密度を利用することによって、数桁のオーダーで改良された中性子感度が得られることになる。さらにORAMは、中性子反応に必要な水素および炭素原子で構成されるため、生体組織の等価物を提供するとともに、中性子線量測定においてしばしば採用される外付けのアルファ粒子



または陽子の放射器の必要がなくなる。アルファ粒子または陽子放射器は、線量測定器のサイズを大きくし、線量読み取りの判読を複雑化するというデメリットを有する。

ここまでで説明した本発明は、中性子線測定に関しているが、本発明の原理は、他の放射線や、一般に、陽子や重イオンなどの高い線形エネルギー転換（LET）放射線や、マイクロ線量測定にも適用可能である。上述のように、中性子放射線測定は、ORAM材料の水素および炭素と反応し、局所的エネルギー蓄積を起こすエネルギーをもった重イオンをつくる。この局所エネルギー蓄積は、また、陽子および重イオン放射線のような他の種類の高LET放射線との相互作用からも起こる。

実際、上述の中性子線測定計は、その存在が重要である中性子以外の高いLET粒子を阻止するためのフィルタが必要である。これは、地上における多くの線量測定用の機器については、一般に、ほとんどの場合は問題にならない。地上では、陽子および重イオンは問題になるぐらいの量が存在しないためである。しかし、高エネルギーの陽子が高LET放射線の多くを占めるような宇宙空間においては、状況が異なってくる。

したがって、上述の方法論、線量測定器および装置は、特に、陽子線量測定をも含む高LET放射線測定をおこなうために用いることができる。唯一の差は、中性子の場合のように2次粒子の発生を通じて局所的な温度上昇を生じるのではなく、むしろ、入射した放射線が直接ORAM材料と反応することによって局所的な温度上昇を引き起こすことである。いずれにしても結果として生じる温度上昇は、励起された分子の書き込み形状を消去し、上述のようにビットフリップのかたちで生じるエラーを引き起こす。したがって、吸収された線量は、測定可能なエラーの数の関数として計算されうる。また高LET放射線エネルギーは、ORAM内につくられた高LET粒子の軌跡構造から計算されうる。さらにこれらの軌跡の性質または特定の形状は、陽子と中性子との違いのような、高LET放射線の異なる種

類を判別するのに用いられうる。

本発明は、また、マイクロ線量測定を実行するのに用いられ、それをする際に

、初期のマイクロ線量測定技術で懸案であった基本的な問題を克服する。マイクロ線量測定は、照射された固体における線量の微視的な分布の測定を必要とする。どのように人体が局所的に放射線を吸収するかという知識は、吸収された放射線の生体的な影響を研究するのに重要である。過去の問題は、測定は、固体内部では行われ得ないということであった。このために、研究者は、コンピュータシミュレーションをしたり、ガス中の局所的な影響を調べ、それを固体に外挿したりしていた。

本発明は、固体内部、特に生体組織の等価物の線量の分布を測定することを可能にする。放射線によって引き起こされた（放射線誘導の）「エラー」は、読み出され、ORAM中の放射線分布の三次元画を提供するようにマップされ得る。

ニューラルネットワークは、生体神経システムから考え出された情報プロセッサである。これらは、生きているニューロン（神経細胞およびその全ての突起）のコンピュータベースのシミュレーションであり、従来のコンピューティングとは基本的に異なった動作をする。ニューラルネットワークは、自身の経験から学習する能力を有している。ニューラルネットワークは、パターン認識アプリケーションに特に有用であることが立証されている。Boone J.M., Sigillito V.G., およびShaber S.G., 「Neural Networks in radiology: An introduction and evaluation in signal detection task」, Med. Phys. 17, 234-241(1990)。この特徴のために、ネットワークは、光メモリ素子における粒子のマイクロ線量測定の軌跡構造 (microdosimetric track structure) に基づいてエネルギースペクトルを決定するのに、特に有用である。典型的なニューラルネットワークが、図7において、参照符号30で示されている。基本となる構成ブロックはノード（人工ニューロンまたは処理素子）であり、円で表されている。

図7に示されているように、ネットワークは、典型的には、処理素子32の入力

層、処理素子33の出力層、および処理素子34および35の1つ以上の隠れ層 (hidden-layers) から構成されている。処理素子間の各リンクは、直線で示されており、特有の重みを有している。ネットワークのインテリジェンス (intelligence) は、これらの重みの値に存する。非同期的に、各処理素子は、各入力線の重みと

その入力線における信号レベルとの積の和を計算する。もし、積の和が、予め設定されたアクティベーション閾値を超えた場合、処理素子の出力は、典型的には、非線形関数（例えばシグモイド）を用いて計算される。学習は、重みの値の調整を通して行われる。重みの値は、様々な入力／出力データのペアである「訓練用材料」をネットワークに与えることによって決定される。訓練セットを通じた連続的な反復の間、ネットワークが入力（軌跡の構造）とその適切な出力（エネルギースペクトル）との間を関連づけるようになるまで、学習アルゴリズムによって重みが継続的に更新される。

ニューラルアーキテクチャは、そのいくつかの重要な特徴によって、従来のアプローチと区別される。

1. 実行する関数はないか、ほとんどない。それぞれが積の和を計算するごく単純なユニットがあるのみである。したがって、各処理素子のタスクは、その近隣の処理素子からの入力を受け取ることと、これらの入力の関数として出力値を計算し、その近隣の処理素子にそれを送ることとに限られる。各処理素子は、周期的にこの計算を、その近隣のどの処理素子の動作とも並列に、しかし同期しないで行う。

2. 全ての知識は、結合（connections）にある。処理素子の階層では、きわめて短い期間の貯蔵のみが起こり得る。長期間の貯蔵の全ては、処理素子間の結合の強さの値、つまり「重み」によって表される。一つのニューラルネットワークモデルを他のものと主として区別するのは、これらの重みを確立し、それを学習中に改変するルールである。全ての知識は、したがって、処理素子の階層に明示的に表されているというよりも、結合の重みの強さに潜在的に表されている。

3. アルゴリズムのコンピュータおよび専門的なシステムとは対照的に、ニューラルネットの学習のゴールは、アルゴリズムの定式化でも、一組の明示的なルールでもない。学習中、ニューラルネットワークは、自己を組織して、与えられた入力に対してその入力に対する正しい出力として教えられたものに最も近い出力をもたらすような、全体的な重みのセット（集合）を確立する。あたかもルールを知っているかのようにニューラルネットワークを振る舞わせるのは、この適

応性のある、結合強さの取得である。従来のコンピュータは、知識が、明示的なアルゴリズム、あるいは明示的かつ複雑なルールのセットで容易に表され得る応用において、秀でている。そうでない場合には、従来のコンピュータは大きな困難に直面する。従来のコンピュータは、どの人間よりもかなり高速にアルゴリズムを実行することができるが、パターン認識、最も近くのものへの分類 (nearest neighbor classification)、および同時に多数の制約に直面したときに最適解に到達することのような非アルゴリズム的なタスクでは、人間のパフォーマンスに匹敵することを挑まれている。もし、未知の入力パターンを分類するために、 $N$ 個の模範パターンをサーチしなければならない場合、アルゴリズムのシステムは、このタスクを約 $N$ 回のオーダーで達成することができる。ニューラルネットワークでは、全ての候補者（規範パターン）のサインは、同時に、全システムの結合重みの全体的なセットによって表されている。したがって、ニューラルネットワークは、 $N$ 回のオーダーとは対照的に、1回のオーダーではっきりしない入力のもっと近いものに自動的に到達する。

ニューラルネットワークの訓練は、特に、ここでともに援用されるClark, J. W., "Neural network modeling", Phys. Med. Biol., 36, 1259-1317(1991)、およびRumelhart, David E. and McClelland, James L., "Parallel Distributed Processing", MIT Press, 1986, Volume 1に述べられている後方伝搬 (back-propagation) 技術を含む様々な手法で行われる。ネットの訓練中、エラー（つまり規範となる入力に対する適切な出力と、その出力についての現在のネットの出力

との間の差）は、出力層から中間層に、それから入力層にと後に向かって伝搬される。これらのエラーは、将来、規範のパターンが提示された場合に適切な出力カテゴリが得られるように、訓練アルゴリズムによって相互結合の重みを再調整するために、各層で用いられる。後方伝搬学習アルゴリズムは、実際の出力と望ましい出力との差として定義されるネットワークエラーの最小二乗法の最小化に基づいている。

ニューラルネットワークの本応用において、訓練ベアの入力、粒子の軌跡の

構造を示すパラメータであり、出力はエネルギースペクトルである。これらのパラメータは、特に、反跳粒子のタイプ、軌跡の長さおよび軌跡の半径を含み得る。軌跡内のマイクロ線量測定用の線量分布の詳細に関連する他の軌跡のパラメータが定義され、入力されてもよい。

入力/出力の訓練セットは、テストデータと同様に、モンテカルロシミュレーション技術を用いて生成される。三次元のリアリスティックシミュレーションパッケージが、どのように高LET粒子がORAM材料を通して運ばれるかの詳細なコンピュータシミュレーションを得るように開発されている。シミュレーションパッケージは、ここで援用されるZaider M., Benner D.J. and Wilson W.E., "The Application of Track Calculations to Radiobiology. I. Monte carlo Simulation of Proton Tracts", Rad. Res. 95, 231-247(1983)に述べられている、Zaide"らによって開発された形式に基づいているであろう。モンテカルロシミュレーションは、3つのステップで行われる。(1)相互作用ポイントの幾何学座標、エネルギー分布、およびイベントの種類を含む軌跡の生成、(2)高LET粒子と媒体との相互作用から生じる一次電子の生成、および(3)粒子の軌跡における半径方向の線量分布をシミュレートするように媒体中の電子を移送すること。このような計算は、様々な重イオンの種類およびエネルギーに適用することができる。モンテカルロの結果は、ニューラルネットワークを訓練することによってエネルギー識別アルゴリズムを発達させるのに用いられる。

ニューラルネットワークおよびモンテカルロシミュレーションは、例えば、市販のニューロコンピュータアクセラレータボードを含むSUNのワークステーションまたは他の適切なコンピューティング装置で実行される。

線量分布は、0.3-20MeVの陽子、930MeVの $^4\text{He}$ および41MeVの $^{16}\text{O}$ イオンを含む発表されているデータを用いて、いくつかの放射線の種類およびエネルギーについて計算される。Wingate C.L. and Baum, J.W., "Measure Radial Distribution of Dose and LET for Alpha and Proton Beams in Hydrogen and Tissue-Equivalent Gas", Rad. Res., 65 1-19(1976)、Varma M.N., baum J.W., and Kuehner A.V., "Radial Dose, LET, and W for  $^{16}\text{O}$  Ions in  $\text{N}_2$  and Tissue-Equival

ent Cases", Rad. Res. 70, 511-518(1977)、Wilson W.E., Metting N.F. and Paretzke H.G., "Microdosimetric Aspects of 0.3-to 20[MeV Proton Tracks]", Rad. Res. 115, 389-402(1988)、およびVarma M.N., Paretzke H.G., Baum J.W., Lyman J.T., and Howard J., "Dose as a Function of Radial Distance From a 930 MeV  $^4\text{He}$  Ion Beam", In Proc. 5th Symp. Microdosimetry, Sept. 22-26, 1975(EUR 5452 d-e-f)を参照。軌跡は、一次近似では、励起およびイオン化の円筒形状の領域として記述される。軌跡内の半径方向の線量分布は、発表されている生体組織等価物であるガス中の実験データに基づいて計算され得る。ORAM材料におけるシミュレートされた半径の距離( $r'$ )および半径方向線量分布 $D(r')$ を計算するためには、以下の変換が適用され得る(上のVarma et al.を参照せよ)。

$$r' = r \{ [(S/\rho)_{\text{gas}}] / [(S/\rho)_{\text{ORAM}}] \} \quad (1)$$

$$D(r') = D_{\text{gas}}(r) \{ [(Z/A)(S/\rho)_{\text{ORAM}}] / [(Z/A)(S/\rho)_{\text{gas}}] \} (\rho_{\text{ORAM}}/\rho_{\text{gas}})^2 \quad (2)$$

ここで、 $S/\rho$ は質量阻止能(mass stopping power)であり、 $\rho$ は密度であり、 $Z$ および $A$ はそれぞれ、ターゲット材料の原子数および質量数である。

次に、高LET粒子に応じた「ビットフリップ」の確率が計算され得る。ORAM材料と相互作用する粒子は、エネルギー拡散の結果として、局所的な温度を上昇させる。予備的な結果は、1MeVの陽子の軌跡内で温度が95℃まで上昇したことを示している。ORAMは温度に感応するので、この温度上昇は、もともと書き込まれていた情報を変化させる(「ビットフリップ」を引き起こす)と考えられる。これらのビットフリップの量および空間的な分布は、次のようにして計算され得る。(1)計算された線量分布に基づく、粒子の軌跡内の温度分布の計算、および(2)エネルギー、温度および時間の関数としての「ビットフリップ」の分布の理論的な分析的計算。「ビットフリップ」の数は、一次の動力学にしたがうものと仮定する。すなわち、

$$N(t) = N_0(1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

ここで、 $N(t)$ は時間 $t$ における「ビットフリップ」の数であり、 $N_0$ は「読み出し」形式でのビットの初期濃度であり、 $k$ はレート定数である。ビット変換の割合に対する温度の影響を考慮するためには、アレニウスのレート方程式が用いられる。

$$k(T) = \sum_i A_i \exp(-E_i/RT) \quad (4)$$

ここで $A_i$ は、ごくわずかに温度に依存するが定数であると仮定できるファクタであり、 $E_i$ は、2つの分子状態のエネルギー差である。エネルギー範囲1-3MeVにおける陽子放射線に対する3-D ORAMの応答を予測するための、軌跡構造理論(track structure theory: TST)に基づいた計算が行われる。その結果は、(1)陽子によって引き起こされる(陽子誘導の)ビットフリップの確率は、室温での自発的なビットフリップの確率よりも3桁まで大きくなること、および(2)室温での自発的な(つまり、放射線によって引き起こされたものではない)ビットフリップは、ビットが書き込まれてからの時間の関数として増加するということを示している。

ている。

研究されてきた3-D ORAM材料は、フォトクロミック分子としてのスピロベンゾピランを重量にして1%含むポリメチルメタクリレート(PMMA)マトリックスからなる。スピロピラン分子は、1064nm光子と532nm光子、または2個の532nm光子を同時に吸収することによってメロシアニン(merocyanine)の形に励起され得る。メロシアニン分子は、2個の1064nm光子の吸収によって励起され、続いて、下方に遷移し、赤にシフトした蛍光(red-shifted fluorescence)を発光し、スピロピランの形に戻る。式(3)および(4)は、上記のParthenopoulosらによって与えられるパラメータを用いて、メロシアニン形状からスピロピラン形状への変換の割合を計算するのに適用された。式(4)中のパラメータ $A_i$ および $E_i$ は、Gardlundらによって与えられたデータに基づいて計算された。Gardlund Z.G., and Laverty J.J., "Polyalkylmethacrylate Films as Matrices for Photochromic Studies", Journal of Polymer Science, Polymer Letters 7 719(1969)。フォトクロミック分子(スピロベンゾピラン)の2つの異性体形状(isomeric form)間の変

化がビットフリップを記録する。イオン化放射線のこの材料との相互作用は、分子のメロシアニン形状のスピロピラン形状への変換を引き起こすことによって、ビットフリップを引き起こすであろう。1および3MeV陽子の軌跡に沿ったビットフリップの確率の半径方向の分布を計算し、バックグラウンドのビットフリップ（放射によって引き起こされたものではないビットフリップ）の確率と比較した。生体組織等価物のガスにおける1および3MeV陽子についての放射線量分布を測定した上述のWingateらの実験結果に、理論的な計算が適用された。陽子の軌跡に沿った放射温度上昇は、材料の熱容量および半径方向の線量分布を用いて計算された。

放射線によって引き起こされる（放射線誘導）ビットフリップの確率を、システムのノイズ、即ち、ビットフリップが自発的に（放射によって引き起こされるのではなく）生じる確率と比較した。その結果は、明らかに、放射線誘導ビット

フリップの有意な確率が予測されることを示している。放射線誘導ビットフリップの確率は、自発的ビットフリップの確率よりも3桁高くなり得る。これらの確率は、入射する粒子の原子番号 $Z$ が大きくなるほど増加すると考えられ、このことは、宇宙線に典型的な値よりもさらに高いエネルギーに対してさえも成り立つ。

従って、SPを用いる高LET線量計は、低線量レベルにおいて高感度であると期待できる。生じうる問題として認識されているのは、室温における自発的ビットフリップの確率（即ち、放射線によって引き起こされるのではない）が、各ビットが記録されてからの時間の関数として増加するということである（フェーディング）。この室温フェーディングによってSP材料が限定されてくるであろう。しかしながら、この限定のために、SP材料を高LET線量計として用いることができなくなるとは考えられない。ORAM線量計は、その原理上、熱電氣的に冷却し、温度が上昇した状況下でさえも、受動的な総和線量計として用いることができる。

フェーディング効果を減少させ、材料の熱電氣的冷却の必要をなくすために、他のタイプのフォトクロミック材料を選択してもよい。このようなその他の材料としては、フォトクロミックフルギド (Parthenonopoulos, D. A. および Rentzep



is, P.M.による"Two-Photon Volume Information Storage in Doped Polymer Systems", J. Appl. Phys. 68, 5814-5818(1990))、および光学的3D記憶装置への候補として考慮されているスピロピラン(spyropropan)その他の分子などがある。このような分子は、例えば、Malkin J., Dvornikov A. S., Straub K. D., およびRentsch P. M.による、"Photochemistry of Molecular Systems for Optical 3D Storage Memory", Res. Chem. in. 19, 159-189(1993)に記載されている。この文献は、ここで参考として援用する。

図8を参照して説明する。入射する放射線(例えば中性子線)を測定する分光計は、全体として参照番号40で示されている。分光計40は、光メモリ素子41、レーザーアセンブリ42、光検出器アセンブリ43(例えば、フォトダイオードア

レイ、CCD装置などを含む)、プロセッサ44およびROMやRAMなどの付随的計算素子、入力装置45、表示装置46、および通信ポート47を備えている。図示されていないが、分光計は、必要に応じてAC電源に接続されるバッテリーなどの電源や、破線49で示されるハウジングなどの従来の装置や部品を備えている。ハウジングは、好ましくは、分光計の様々な構成要素をコンパクトにまとめ、軽量で運び易いパッケージである。光メモリ素子は、好ましくは、分光計によって測定されるべき放射線に対して反応するようにして、ハウジングの中に配置される。更に、全体消去用に、加熱素子のような消去/リセット装置を設けてもよい。

光メモリ素子41、レーザーアセンブリ42、および光検出器アセンブリ43は、一般的に、上述のHunterらによる文献に記載されているORAMの書き込みおよび読み出しシステムと同様に動作する。レーザーおよび光検出器アセンブリの書き込み/読み出し動作は、プロセッサ44によって制御される。プロセッサ44としては、プログラム可能である従来のマイクロプロセッサの適切なタイプのものを用いることができる。プロセッサは、光メモリ素子に対して望みの周波数で反復的に読み出し動作を行い、モニターされている放射場の測定をリアルタイムで実行できるようなプログラムによって動作することが好ましい。3次元データはプロセッサにより、ニューラルネットを用いて処理され、エネルギースペクトル(エネルギーに対する強度)、吸収線量および/またはエネルギーが得られる。等価線量

は、上述のように、吸収線量およびエネルギーから計算され得、吸収線量および／またはエネルギースペクトルが表示装置46に表示され得る。プロセッサは、新たな走査の開始時における光メモリ素子のリセットも制御する。このようなりセットは、例えば、入力装置45のスタートボタンを押すことによって行わせることができる。表示は、放射が蓄積されるに連れて、周期的にあるいは連続的に更新することができる。また、線量レートおよび等価線量を求めてもよい。このようにして、中性子（あるいは他の）放射線のモニターを行うことができる。

分光計は、測定された放射データを保存するための1つあるいは2つ以上のメモリ保存装置を備えていてもよい。保存されたデータは、望みに応じて更なるデータ処理を行うために、例えば、通信ポート47を通して従来の装置にダウンロードされてもよい。望みに応じて、その他の出力装置、例えば、データやその他の情報を直接印刷するプリンタに接続するプリンタポートなどを設けてもよい。入力装置45は、例えば、キーパッドやキーボードであり、コマンドの設定、データの入力、プロセッサからの質問への応答などを行うための人間／プロセッサインターフェースを提供する。

次に、図9を参照して説明する。入射する放射線（例えば中性子線）を測定するリアルタイム線量計は、全体として参照番号50で示されている。線量計50は、光メモリ素子51、レーザーアセンブリ52、光検出器アセンブリ53、プロセッサ54およびROMやRAMなどの付随的計算素子、入力装置55、表示装置56、および通信ポート57を備えている。図示されていないが、線量計は、バッテリーなどの電源や、破線59で示されるケースなどの従来の装置や部品を備えている。線量計は、好ましくは、通常のページャと同じくらいに小型・軽量であり、ポケットに入れたり、ベルトに付けたり、首にかけたチェーンに付けて容易に運ぶことができる。光メモリ素子は、好ましくは、モニターされるべき放射線に対して反応するようにして、ケース中に配置される。

レーザーアセンブリ52は、例えば、コンパクトディスクプレーヤなどによく使われるタイプのダイオードレーザを用いる、小型化されたアセンブリであることが必要である。しかし、光メモリ素子51、レーザーアセンブリ52、および光検出器

アセンブリ53は、依然、一般的に、上述のHunterらによる文献に記載されているORAMの書き込みおよび読み出しシステムと同様に動作する。レーザーおよび光検出器アセンブリの書き込み／読み出し動作は、プロセッサ54によって制御される。プロセッサ54としては、プログラム可能である従来のマイクロプロセッサの適切なタイプのものを用いることができる。プロセッサは、光メモリ

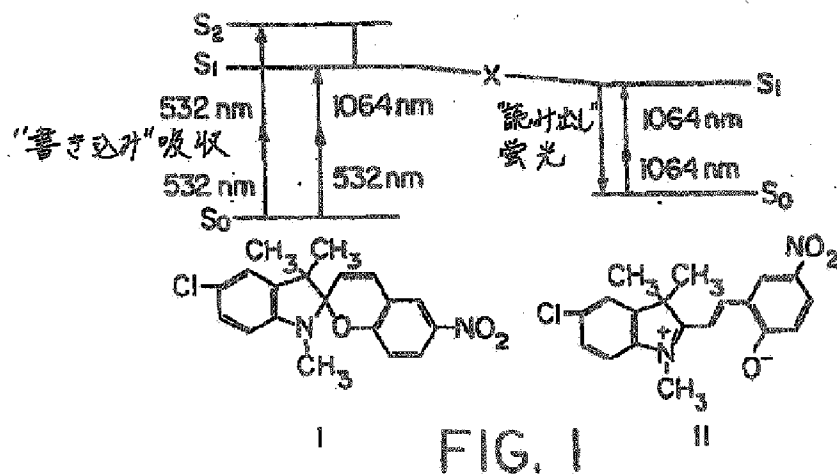
素子に対して望みの周波数で反復的に読み出し動作を行い、モニターされている放射場の測定をリアルタイムで実行できるようなプログラムによって動作することが好ましい。3次元データはプロセッサにより、ニューラルネットを用いて処理され、エネルギースペクトル（エネルギーに対する強度）、吸収線量およびエネルギーが得られる。等価線量は、上述のように、吸収線量およびエネルギーから計算され得、計算された等価線量、吸収線量、線量レートおよび／またはエネルギー（例えば平均エネルギー）が表示装置56に表示され得る。プロセッサは、各読み出し動作後、あるいはそれ以外の場合に、光メモリ素子の周期的なりフレッシュを行う。このようにして、中性子（あるいはその他の）放射線のリアルタイムのモニターを行うことができる。

線量計は、測定された放射データを保存するための1つあるいは2つ以上のメモリ保存装置を備えていてもよい。保存されたデータは、望みに応じて更なるデータ処理を行うために、例えば、通信ポート57を通して従来の装置にダウンロードされてもよい。望みに応じたその他の出力装置、例えば、データやその他の情報を直接印刷するプリンタに接続するプリンタポートなどを設けてもよい。入力装置55は、例えば、キーパッドであり、コマンドの設定、データの入力、プロセッサからの質問への応答などを行うための人間／プロセッサインターフェースを提供する。

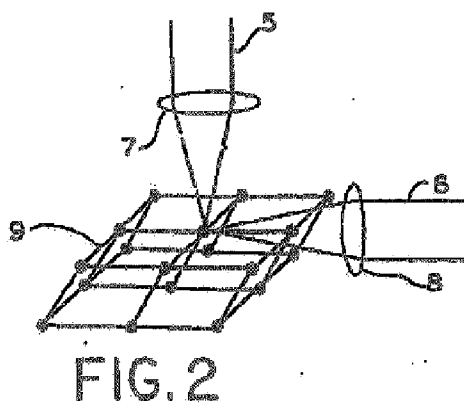
本発明は、ある好ましい実施態様について示され、説明されたが、この明細書を読んで理解する当業者は、疑いなく、均等物との置換および改変に想到するであろう。更に、本発明の特別な特徴は、記載された実施態様のすべてについてではなく、そのうちのただ1つか幾つかについてのみ説明されている。しかし、このような特徴は、任意の、あるいは特別なあらゆる応用例に好適且つ有利な他の

実施態様の1つあるいはそれ以上の特徴と組み合わせることができる。本発明は、あらゆるこのような均等物との置換および改変を包含しており、また、以下のクレームの範囲によってのみ限定されるものである。

【図1】



【図2】



【図3】

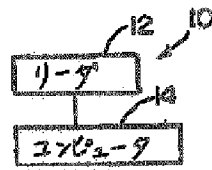


FIG. 3

【図4】

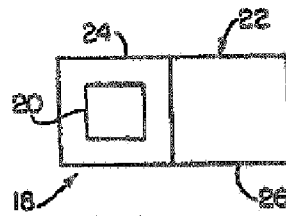


FIG. 4

【図5】

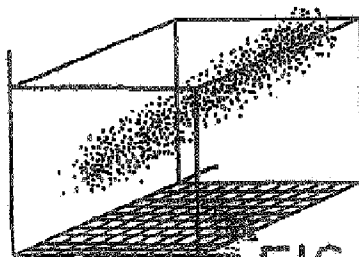


FIG. 5

【図6】

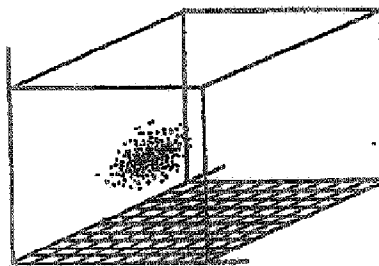


FIG. 6

【図7】

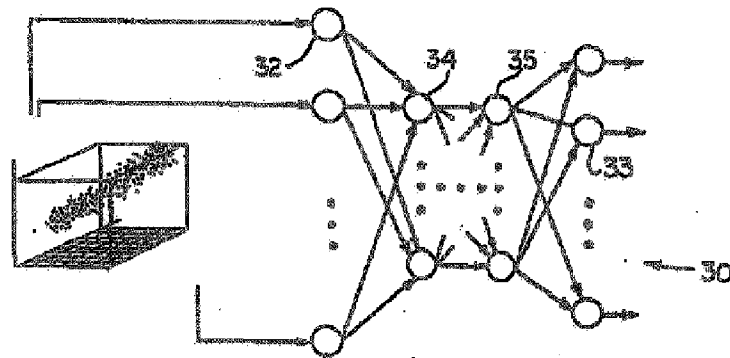


FIG. 7

【図8】

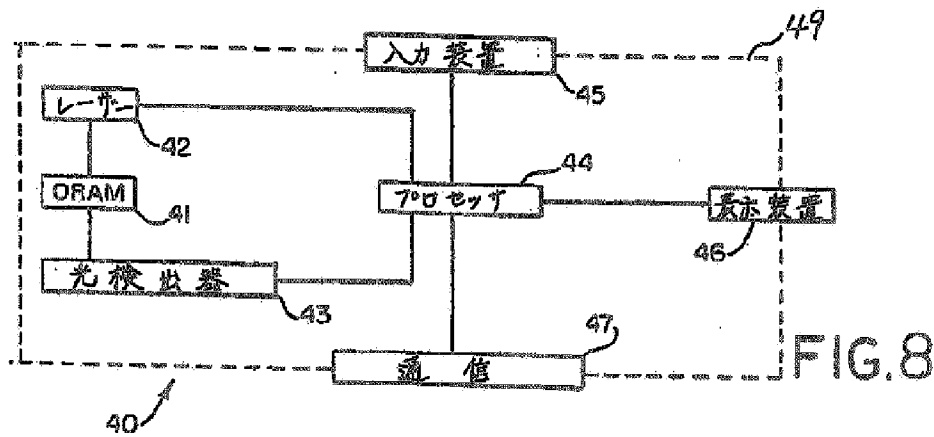
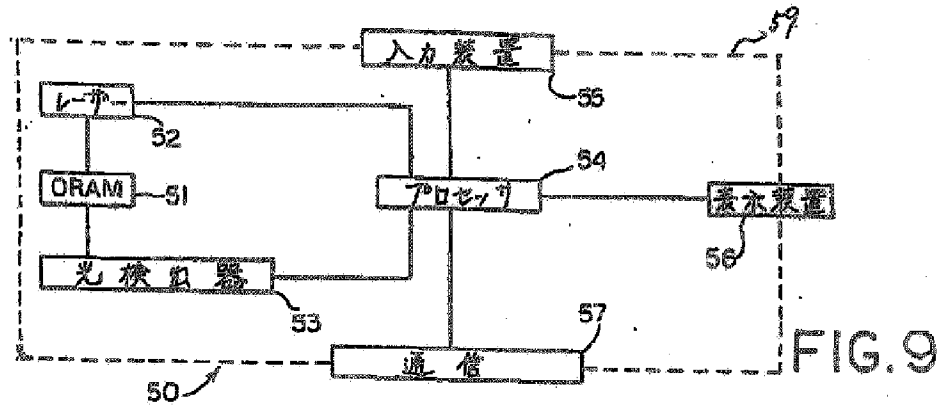


FIG. 8

【図9】



## [国際調査報告]

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US93/05837

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(6) : 001T 1/00 US CL : 250/474.1 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 250/472.1, 473.1, 474.1 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category <sup>a</sup>	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	US, A, 5,319,210 (MOSCOVITCH) 07 June 1994, claims 1-13, 16-20.	1-17
A	US, A, 4,983,843 (THOMSON) 08 January 1991.	1-17
A	US, A, 4,288,861 (SWAINSON ET AL.) 08 September 1981.	1-17
A	Science, Vol. 245, 25 August 1989, Dimitri A. Parthenopoulos and Peter M. Rentzepis, "Three-Dimensional Optical Storage Memory," pages 843-845.	1-17
A	Byte, March 1992, Richard Marlon Stein, "Terabyte Memories with the Speed of Light," pages 188-189.	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<sup>a</sup> Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document published on or after the international filing date "L" documents which may raise doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (to be specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application submitted to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
03 JULY 1995		10 JUL 1995
Name and mailing address of the ISA/IJS Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231		Authorized officer CONSTANTINE HANNAHER
Facsimile No. (703) 305-3230		Telephone No. (703) 305-4350

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US95/05837

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Health Physics, Vol. 53, No. 3, September 1987, Wesley E. Bolch, J.E. Turner, R.N. Hamm, H.A. Wright, and G.S. Hurst, "A Method of Obtaining Neutron Dose and Dose Equivalent From Digital Measurements and Analysis of Recoil-Particle Tracks," pages 241-253.	1-17
A	Health Physics, Vol. 49, No. 2, August 1985, John L. Davis, "Use of Computer Memory Chips as the Basis for a Digital Albedo Neutron Dosimeter," pages 239-265.	1-17
A	Applied Optics, Vol. 29, No. 14, 10 May 1990, Susan Hunter, Fouad Kiamilev, Sadik Esener, Dimitri A. Parthenopoulos, and Peter M. Rentzepis, "Potentials of two-photon based 3-D optical memories for high performance computing," pages 2058-2066,	1-17
A	Radiation Protection Dosimetry, Vol. 20, No. 1/2, 1987, D.E. Hankins and J. Westernmark, "Preliminary Study on the Use of the Track Size Distribution on Electrochemically Etched CR-39 Foils to Infer Neutron Spectra," pages 109-112.	1-17
A	Invited paper in the Proceedings of the Eleventh DOE Workshop on Personnel Neutron Dosimetry, Las Vegas, Nevada, US, 04-07 June 1991, Marko Moscovitch, "Dosimeters for Measuring Neutron Dose Equivalent: New Approaches," pages 1-3.	1-17
A	Radiation Protection Dosimetry, Vol. 23, No. 1/4, 1988, R.V. Griffith, "Review of the State of the Art in Personnel Neutron Monitoring with Solid State Detectors," pages 155-160.	1-17
A	IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 33, No. 1, February 1986, J.C. Lund, F. Sinclair, and G. Entine, "Neutron Dosimeter Using a Dynamic Random Access Memory as a Sensor," pages 620-623.	1-17
A	Journal of Luminescence, Vol. 38, 1987, R.M. MacFarlane, "Photon-Gated Spectral Holeburning," pages 20-24.	1-17
A	Glenn H. Brown, Techniques of Chemistry, Volume III, Photochromism, 1971, by Wiley-Interscience (New York), pages 45-55, pages 242-255.	1-17
A	N.W. Holm and R.J. Berry, Manual on Radiation Dosimetry, 1970, by Marcel Dekker (New York), pages 129-177.	1-17

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US95/05837

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Research on Chemical Intermediates, Vol. 19, No. 2, 1993, J. Malkin, A.S. Dvornikov, K.D. Straub, and P.M. Rentzepis, "Photochemistry of Molecular Systems for Optical 3D Storage Memory," pages 159-189.	1-17
A	Scientific American, September 1992, Geoffrey E. Hinton, "How Neural Networks Learn from Experience," pages 145-151.	1-17
A	Company publication on Coherent DPSS 532 laser family, 1991, Coherent Inc., 3210 Porter Drive, Palo Alto, California, US.	1-17